

# AVALIAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO EXTRAÍDOS DE IMAGEM ALOS/PRISM E COMPARAÇÃO COM OS MODELOS DISPONIBILIZADOS GRATUITAMENTE NA WEB

Marcela Malvão IORIO<sup>1</sup>, Giancarlo LASTORIA<sup>2</sup>, Camila Leonardo MIOTO<sup>1</sup>, Edilce do Amaral ALBREZ<sup>1,2</sup>, Antonio Conceição PARANHOS FILHO<sup>1,2</sup>

- (1) Laboratório de Geoprocessamento para Aplicações Ambientais - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Endereços eletrônicos: marcela.iorio@gmail.com; ea.mioto@gmail.com; edilce.albrez@gmail.com
- (2) Professores - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - Campus Universitário, S/Nº, Caixa Postal, 549; 79070-900; Campo Grande; MS – Brasil. Endereços eletrônicos: g.lastoria@ufms.br; antonio.paranhos@pq.cnpq.br

Introdução  
Caracterização da Área de Estudo  
Materiais e Métodos  
Resultados e Discussões  
Conclusões  
Agradecimentos  
Lista das referências bibliográficas citadas

**RESUMO** – Modelos Digitais de Elevação (MDEs) são modelos matemáticos que buscam reproduzir uma superfície topográfica a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos com coordenadas  $x$  e  $y$ , em um referencial qualquer e atributos  $z$ , que descreve a variação contínua da superfície. Apresentam várias aplicações, dentre as quais o mapeamento de redes de drenagem, a delimitação de bacias hidrográficas, levantamentos altimétricos e de declividade, confecção de mapas topográficos e a ortorretificação de imagens. O presente trabalho buscou avaliar um MDE derivado de imagens do satélite comercial ALOS, sensor PRISM (2,5 m de resolução espacial) e compará-lo a outros modelos distribuídos gratuitamente na INTERNET (SRTM versão 4, TOPODATA e ASTER GDEM). A metodologia da avaliação aplicada aos MDEs nas escalas 1:50.000 e 1:100.000 seguiu o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), apresentado no decreto-lei 89.817 de 20 de junho de 1984. A comparação foi feita entre os modelos citados e pontos levantados em campo com equipamento DGPS (*Differential Global Positioning System*). Os resultados obtidos mostraram que os modelos derivados do ALOS/PRISM apresentam qualidade altimétrica compatível com os MDEs gratuitos.

**Palavras-chave:** ALOS/PRISM, ASTER, SRTM, TOPODATA, modelo digital de elevação.

**ABSTRACT** – Digital Elevation Models (DEMs) are mathematical models that seek to replicate a topographic surface based on algorithms and on a set of points with coordinates  $x$  and  $y$ , in any referential and  $z$  attributes, which describes the continuous variation of the surface. They present several applications, among the mapping of drainage networks, the delimitation of river watershed, slope and altimetric data surveys, preparation of topographic maps and orthorectification of images. This study aimed to evaluate a DEM derived from the images of the commercial satellite ALOS, PRISM sensor (2.5 m of spatial resolution) and to compare it to other models distributed freely on INTERNET (SRTM version 4, TOPODATA and ASTER GDEM). The methodology of evaluation applied to the DEMs at 1:50,000 and 1:100,000 scales has followed the Cartographic Accuracy Standard (PEC), presented in the Law 89,817 of June, 20 of 1984. This comparison has been made between the mentioned models and points gathered in the field with a DGPS (*Differential Global Positioning System*) equipment. The achieved results showed that the models derived from ALOS/PRISM showed an altimetric quality compatible with the free DEMs.

**Key-words:** ALOS/PRISM, ASTER, SRTM, TOPODATA, digital elevation model.

## INTRODUÇÃO

O Modelo Digital de Terreno (MDT) é uma forma de representar numericamente uma característica ou fenômeno espacial ambiental. Exemplos desses fenômenos ambientais podem ser o teor de contaminantes ou mesmo teores de bens minerais. O MDT que traduz a superfície altimétrica é o chamado Modelo Digital de Elevação (MDE) (Paranhos Filho *et al.*, 2008).

O MDE pode ser gerado a partir de três formas distintas: digitalização de dados topográficos coletados em campo, a partir de dados de elevação de sensoriamento remoto aéreo e orbital ou mesmo através de dados obtidos por *laser scanner* (Hutchinson & Gallant, 1999).

As técnicas baseadas em sensoriamento remoto para extração da altimetria do terreno são baseadas em dois métodos: a estereoscopia e a interferometria. Na estereoscopia as informações relativas à elevação de um local são obtidas através da comparação de duas imagens deste local, obtidas de visadas diferentes. Portanto, a determinação da altitude depende da identificação do quanto um ponto foi deslocado em uma imagem em relação à outra imagem (paralaxe). Pode ser aplicada em dados derivados de sensores passivos (que medem a radiação refletida e/ou emitida pelos alvos, que provém de uma fonte externa, como exemplo o Sol) e ativos (sensor que possui sua própria fonte de radiação). Na interferometria, técnica aplicada em dados de sensores ativos, a elevação é obtida através do cálculo da diferença de fase do sinal retroespalhado, tomadas sob geometrias distintas (Paradella *et al.*, 2005).

Como exemplo de sensores que usam a estereoscopia como método de obtenção de dados altimétricos, podemos citar: o ASTER/Terra (ERSDAC, 2006), CCD/CBERS-2 (INPE, 2007), o HRS/SPOT (SPOTE IMAGE, 2011) e o PRISM/ALOS (EORC/JAXA, 2007).

Na interferometria, o radar emite o sinal através de uma antena central e registra as características do retorno desse sinal através de duas antenas situadas a uma distância conhecida. Esses sensores podem ser muito úteis no mapeamento topográfico e por serem ativos não exigem condições atmosféricas

especiais para o imageamento, permitindo a obtenção de imagens em qualquer situação de nebulosidade e de tempo atmosférico. Como exemplo desses tipos de sensores tem-se os sensores da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission* - USGS, 2006), o qual contou com 2 antenas de recepção separadas por um mastro de 60 metros, possibilitando a aquisição de dados em uma mesma órbita, melhorando a qualidade dos produtos gerados.

A Lei Nº 9.433/1997 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos estabelecendo no artigo 1º, inciso V, “a bacia hidrográfica como unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos” (Brasil, 1997). Sendo assim, é de grande importância que esta unidade territorial seja delimitada de forma criteriosa e para tanto é imprescindível que haja um modelo digital de elevação com elevada precisão altimétrica.

As aplicações dos MDEs se estendem muito além do mapeamento da rede de drenagem e delimitação de bacias hidrográficas, elas abrangem diversas outras áreas do conhecimento que necessitam de informações altimétricas, como nas avaliações de riscos de inundação e de deslizamento de terras, no estudo de áreas favoráveis à agricultura, na ortorretificação de imagens de satélite, no planejamento urbano, em estudos de perdas de solo e de áreas de preservação permanente (Chang *et al.*, 2010).

Neste cenário, a precisão altimétrica dos MDEs é de suma importância e sabendo-se do alto custo de um levantamento de campo para coleta de dados altimétricos é necessário que se chegue a métodos menos onerosos para tais fins, mas que, no entanto, mantenham a qualidade altimétrica de seus dados. Pesquisas recentes têm sido desenvolvidas nesse aspecto. Trabalhos como o de Duarte & Assad (2007), Paiva *et al.* (2009), Ribeiro Filho *et al.* (2007) e Souza & Loch (2007) têm analisado os resultados obtidos com o uso de dados SRTM. Já trabalhos como o de Camargo *et al.* (2009) e Fuckner *et al.* (2009) buscaram analisar a qualidade altimétrica dos MDEs ASTER e os trabalhos de Dias *et al.* (2011) e Landau e

Guimarães (2011) compararam a qualidade altimétrica de MDEs gerados a partir de dados ASTER, SRTM e subprodutos do SRTM. Coelho *et al.* (2010), IBGE (2009), Lima *et al.* (2011), Nakahori e Souza (2010) o também estudaram a qualidade dos MDEs oriundos do satélite ALOS, sensor PRISM, concluindo que esses MDEs originam bons resultados e que são promissores.

Contribuindo a esta discussão, neste trabalho foram utilizadas imagens do satélite ALOS sensor PRISM, considerando-se o fato delas apresentarem alta resolução espacial (2,5 metros), bem como facilidade de acesso na aquisição em função do acordo que existia entre

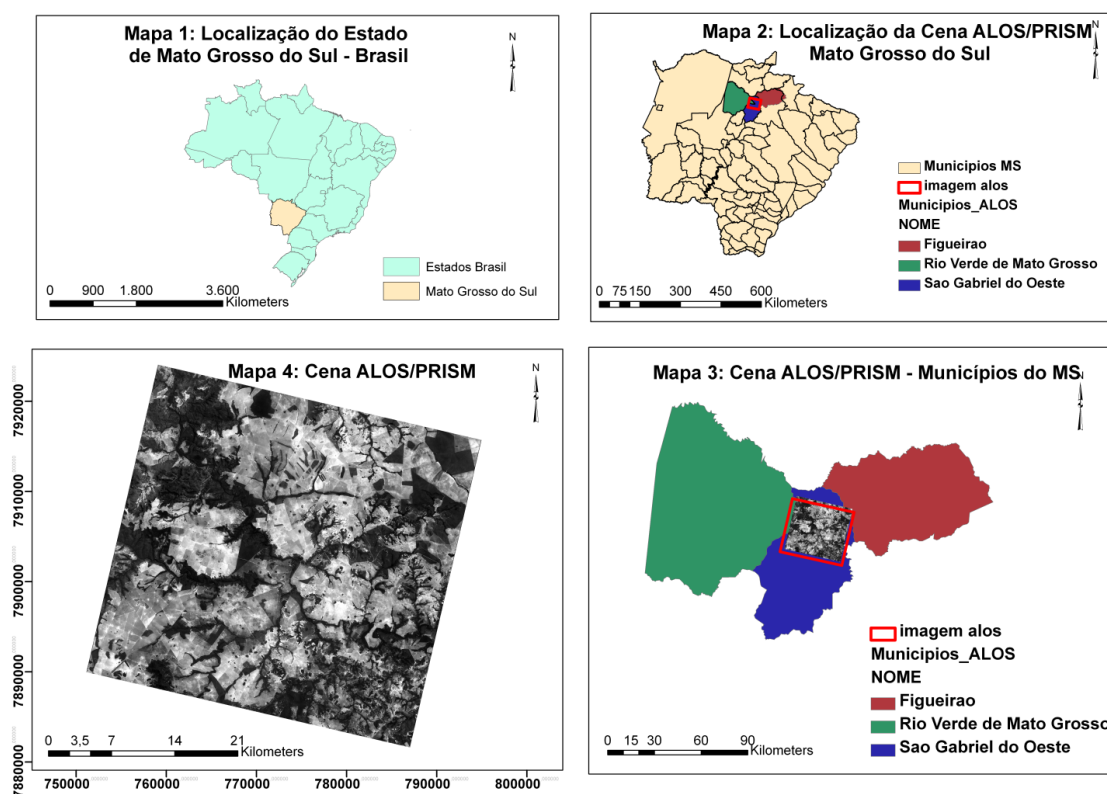
a IBGE (IBGE, 2011) e o JAXA.

Assim o objetivo deste estudo é comparar os dados altimétricos de modelos derivados de imagens do sensor PRISM do Satélite ALOS (EORC/JAXA, 2007) e de modelos globais atuais distribuídos gratuitamente na *web* (SRTM versão 4, TOPODATA e ASTER GDEM). A verdade de campo a balizar e avaliar estes modelos é um conjunto de pontos levantados em campo por DGPS pelo setor de Cartografia do INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – Superintendência Regional do Mato Grosso do Sul (SR-16).

## MATERIAIS E MÉTODOS

A área utilizada para este estudo está localizada no Estado de Mato Grosso do Sul, cobrindo parte dos municípios de São Gabriel

do Oeste, Figueirão e Rio Verde de Mato Grosso (Figura 1).



**FIGURA 1.** Localização da Área de Estudo. Mapa 1: Localização do Estado de Mato Grosso do Sul no território brasileiro. Mapa 2: Localização da cena ALOS/PRISM no Estado de Mato Grosso do Sul. Mapa 3: Municípios do MS cobertos pela cena ALOS/PRISM. Mapa 4: Zoom na cena ALOS/PRISM

No desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados os seguintes materiais:

(i) imagem do sensor PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for*

*Stereo Mapping*), satélite ALOS, adquirida no modo *Triplet*, com nível de processamento L1B2R e com resolução espacial de 2,5 metros (EORC/JAXA, 2007). Esse sensor é composto

por três sistemas ópticos independentes: um com visada *Nadir* e os outros dois com visadas para frente (*Forward*) e para trás (*Backward*). Essas características tornam possível o imageamento estereoscópico na mesma órbita, ao longo da trajetória do satélite.

(ii) MDE da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) versão 4, tratados pela *The CGIAR Consortium for Spatial Information* (CGIAR-CSI, 2008) na tentativa de preencher os “buracos sem dados” que existem no modelo original.

(iii) MDE do ASTER GDEM (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - Global Digital Elevation Model*). Esse produto foi criado com o processamento de 1,3 milhões de arquivos de cenas ASTER, o qual é um sensor a bordo do satélite Terra, com capacidade de operar no modo estereoscópico com as bandas 3N (*Nadir*) e 3B (*Backward*), obtendo dados de elevação da superfície (Tomazoni *et al.*, 2011).

(iv) MDE do Projeto TOPODATA (INPE, 2009), modelo resultante do processamento do MDE do SRTM original, buscando incluir informações onde antes existia ausência de dados. Além disso, a resolução espacial original do SRTM, que é de 90 metros foi reamostrada para 30 metros, a partir de interpolação por krigagem.

(v) arquivos com coordenadas (E, N e H) de 81 pontos fornecidos pelo setor de Cartografia do INCRA - Instituto Nacional de

(*Differential Global Positioning System*) de dupla frequência (L1 L2), com coordenadas determinadas por ajustamento em rede geodésica.

A primeira etapa do trabalho foi a transformação das altitudes dos pontos de elipsoidal para ortométrica, a fim de verificar a ondulação geoidal de cada ponto. Esse procedimento foi realizado devido ao fato das altitudes originais terem sido obtidas por DGPS, estando desse modo, referenciadas ao elipsóide. Para tanto foi utilizado o *software* MapGeo (IBGE, 2010).

Depois da transformação das altitudes, iniciou-se a geração dos MDEs das imagens ALOS/PRISM através do *software* Envi 4.7 (Sulsoft, 2011). Para modelar a geometria dos pares epipolares, esse *software* necessita da identificação de pontos de controle ao solo (*Ground Control Points - GCPs*) sobre as imagens, com coordenadas conhecidas e de fácil identificação em todas as visadas (*Backward, Forward e Nadir*), bem como de pontos de ligação (*Tie Points - TPs*) entre as cenas que componham o par estereoscópico. Desse modo, foram utilizados 25 TPs e 20 GCPs, sendo estes selecionados dentre os 81 pontos coletados com DGPS, fornecidos pelo INCRA.

Também são necessários os Coeficientes Racionais Polinomiais – RPCs, obtidos pelo IBGE. Entretanto, como foram utilizados pontos coletados em campo, não foi necessária a aquisição desses dados. Assim, os GCPs utilizados para modelar a geometria dos pares epipolares também foram utilizados na construção dos RPCs. Desse modo, para a geração dos MDEs foram realizadas as seguintes etapas (Figura 2):

Colonização e Reforma Agrária – Superintendência Regional do Mato Grosso do Sul (SR-16), obtidos a partir de levantamento de campo realizado com equipamentos DGPS

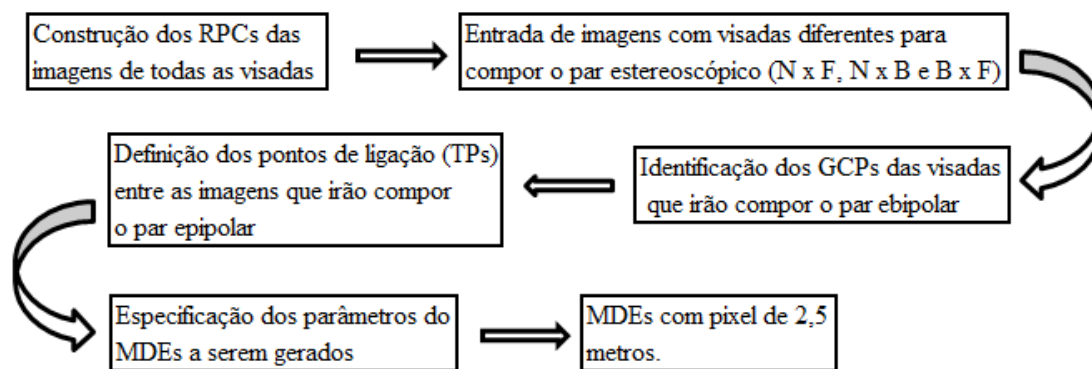
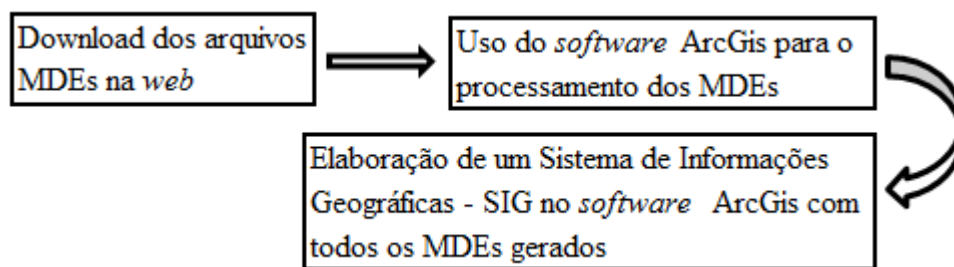


FIGURA 2. Fluxograma metodológico para obtenção dos MDEs ALOS/PRISM.

Os MDEs foram gerados a partir de combinações entre o *Nadir*, *Forward* e *Backward*. Assim, foram feitas as seguintes combinações: *Nadir* x *Forward* (N x F), *Nadir* x *Backward* (N x B) e *Backward* x *Forward* (B x F).

A próxima etapa foi o processamento dos arquivos de MDEs globais disponibilizados

gratuitamente na *web*, sendo estes os arquivos do ASTER GDEM (ERSDAC, 2006), do SRTM versão 4 (CGIAR-CSI, 2008) e do TOPODATA (INPE, 2009), considerando as imagens adjacentes de cada modelo correspondentes à área de estudo. Para o processamento dos dados foram realizadas as etapas descritas na Figura 3.



**FIGURA 3.** Fluxograma metodológico para processamento dos arquivos de MDEs globais disponibilizados gratuitamente na *web*.

A última etapa foi a inserção no Sistema de Informações Geográfica (SIG), implementado no *software* ArcGIS 10 (ESRI, 2010), dos 81 pontos determinados em campo, com coordenadas (E, N e H) conhecidas, e de todos os MDEs gerados. Após a criação deste SIG, foi obtida a altitude (Z) de cada um desses pontos nos seis MDEs gerados. Com isso, obteve-se uma planilha com os valores de altitude de cada ponto obtida por DGPS e sua altitude ortométrica correspondente, além da altitude de cada ponto obtida para cada MDE.

Para avaliar a qualidade dos modelos

digitais, compararam-se as altitudes dos 81 pontos medidos em campo com as respectivas altitudes desses pontos medidas sobre os MDEs gerados. Com isso obteve-se a variação das altitudes dos pontos em cada MDE. Contudo, para análise da qualidade altimétrica desses modelos, foram excluídos os 10% dos pontos com maiores resíduos.

Para analisar a acurácia dos MDEs gerados foi utilizado o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), definido pelo Decreto Lei 89.817 de 20 de Julho de 1984 (Brasil, 1984), que inclui dois cálculos: o erro médio quadrático (E.M.Q) e o de tolerância vertical (Quadro 1).

**QUADRO 1.** Critérios de Classificação das cartas topográficas segundo o PEC para as escalas de 1:50.000 e 1:100.000 (Brasil, 1984).

Classe	Tolerância Vertical	E.M.Q.	Escala 1:50.000		Escala 1:100.000	
			Equidistância: 20 m		Equidistância: 50m	
			Tolerância Vertical	E.M.Q.	Tolerância Vertical	E.M.Q.
A	1/2 Eq.	1/3 Eq.	90% dos pontos < 10m	6,7m	90% dos pontos < 25m	16,7m
B	3/5 Eq.	2/5 Eq.	90% dos pontos < 12m	8m	90% dos pontos < 30m	20m
C	3/4 Eq.	1/2 Eq.	90% dos pontos < 15m	10m	90% dos pontos < 37,5m	25m

O Quadro 1 mostra que na escala 1:100.000, para a Classe A, os pontos devem ter no máximo 16,7 m de E.M.Q e que na escala 1:50.000, na classe C, a tolerância vertical é de que 90% dos pontos obtenham uma variação de até 15 m (3/4 da equidistância das curvas de nível) em relação aos pontos de controle. O erro médio

quadrático foi proposto por Gauss (Dalmolin, 2002), como “a raiz quadrada da média dos quadrados dos erros verdadeiros”. Como os erros verdadeiros são desconhecidos, o erro médio quadrático pode ser expresso em função dos resíduos relativos à média, Equação 1:

$$E.M.Q = \sqrt{\frac{\sum(\Delta Z - \bar{\Delta Z})^2}{(n - 1)}} \quad \text{Equação 1.}$$

Onde:  $\Delta Z = Z_{\text{gps}} - Z_{\text{MDE}}$  (diferença entre a altitude do ponto medido em campo e medido no MDE);

$\bar{\Delta Z}$  = a média dos desvios;

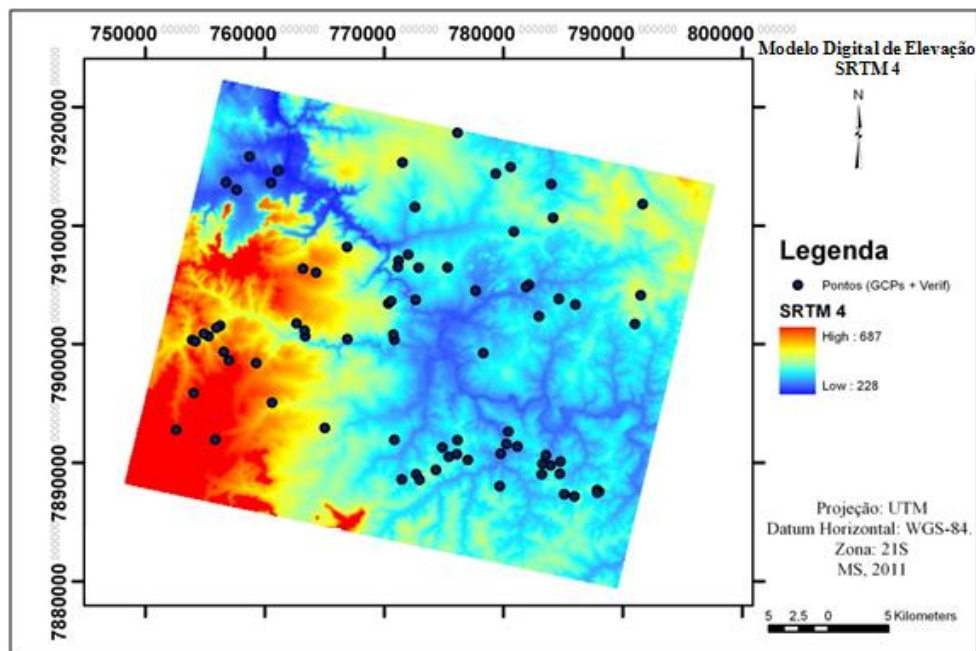
n = número total de pontos de controle

Sendo assim, para cada MDE foi calculado o E.M.Q., bem como a porcentagem de pontos que atenderam a tolerância vertical para as classes referentes à escala 1:100.000.

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 4 mostra a distribuição dos 81 pontos de controle, coletados em campo, sobre

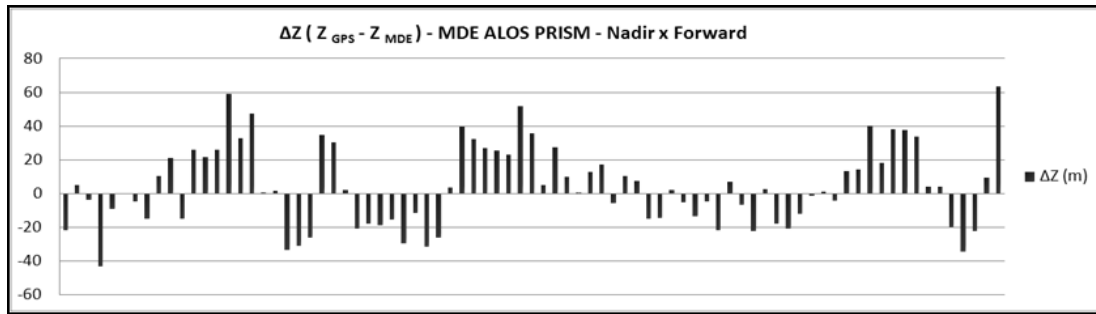
o MDE obtido pelo SRTM, versão 4.



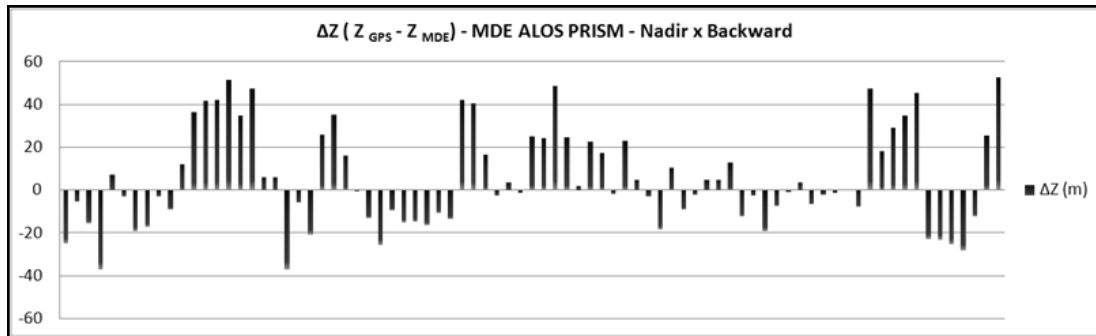
**FIGURA 4.** Distribuição dos 81 pontos de controle, neste caso sobre o MDE da missão SRTM, versão 4. Essa mesma distribuição e análise foram realizadas sobre os MDEs dos satélites ALOS/PRISM, ASTER GDEM e TOPODATA.

Os valores encontrados na subtração das altitudes medidas em campo e as altitudes

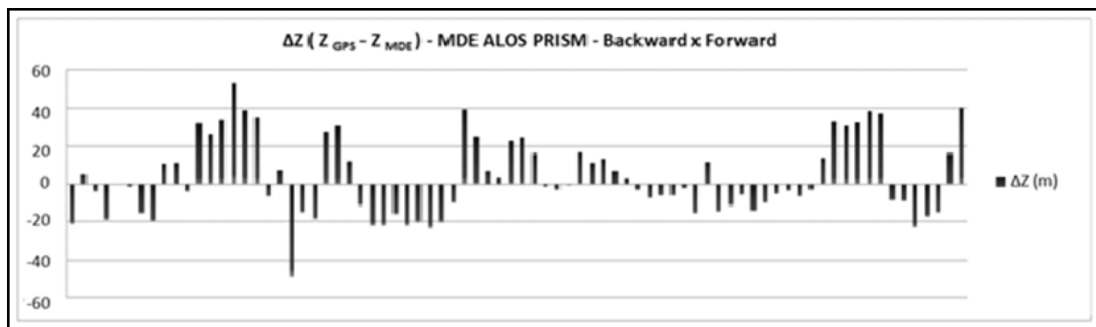
medidas nos MDEs para os 81 pontos de controle são demonstrados nas Figuras 5 a 10.



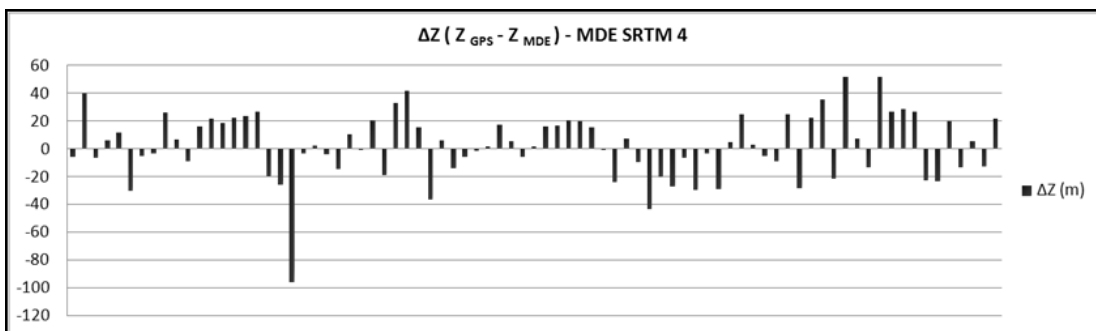
**FIGURA 5.** Valores da diferença existente entre as altitudes medidas em campo e as altitudes medidas no MDE ALOS/PRISM *Nadir x Forward* para os 81 pontos de controle utilizados.



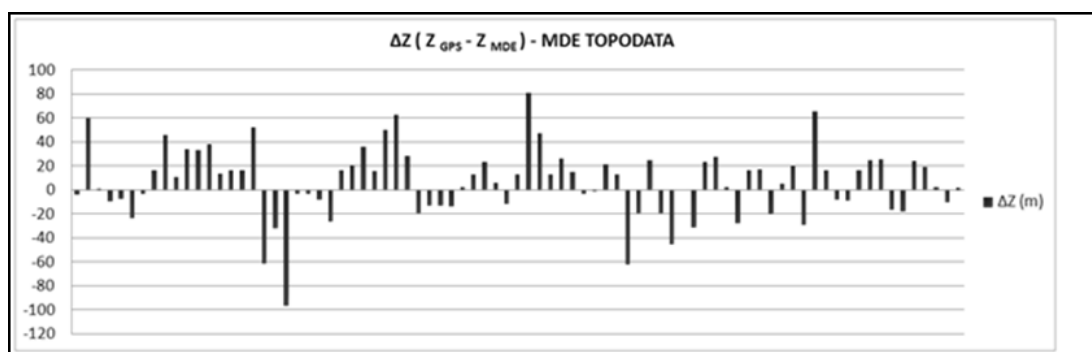
**FIGURA 6.** Valores da diferença existente entre as altitudes medidas em campo e as altitudes medidas no MDE ALOS/PRISM *Nadir x Backward* para os 81 pontos de controle utilizados.



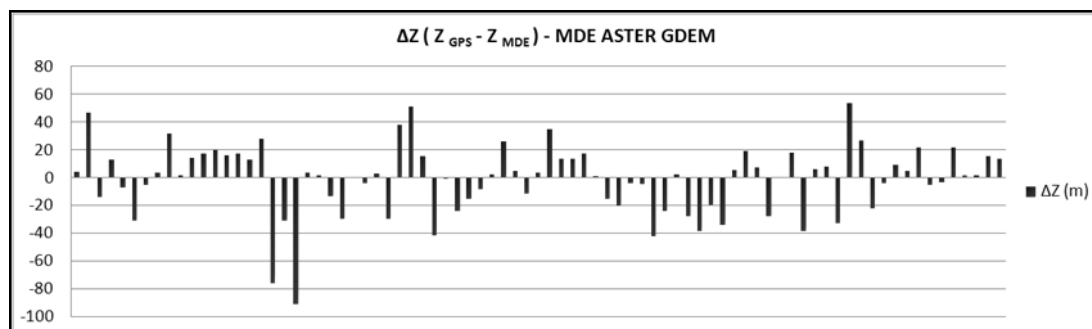
**FIGURA 7.** Valores da diferença existente entre as altitudes medidas em campo e as altitudes medidas no MDE ALOS/PRISM *Backward x Forward* para os 81 pontos de controle.



**FIGURA 8.** Valores da diferença existente entre as altitudes medidas em campo e as altitudes medidas no MDE SRTM versão 4 para os 81 pontos de controle.



**FIGURA 9.** Valores da diferença existente entre as altitudes medidas em campo e as altitudes medidas no MDE TOPODATA para os 81 pontos de controle.



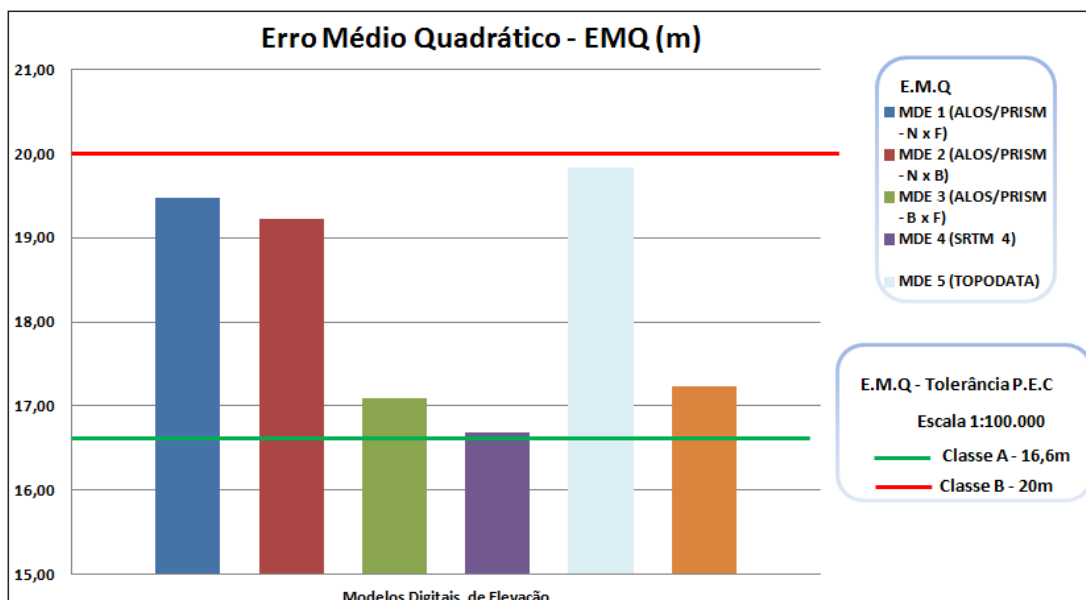
**FIGURA 10.** Valores da diferença existente entre as altitudes medidas em campo e as altitudes medidas no MDE ASTER GDEM para os 81 pontos de controle.

O cálculo do E.M.Q. para cada MDE é demonstrado no Quadro 2 e na Figura 11.

**QUADRO 2.** Cálculo do E.M.Q. de cada MDE.

MDEs	E.M.Q.
MDE 1 (ALOS/PRISM - NxF)	19,48
MDE 2 (ALOS/PRISM - NxB)	19,23
MDE 3 (ALOS/PRISM - BxF)	17,09
MDE 4 (SRTM 4)	16,69
MDE 5 (TOPODATA)	19,83
MDE 6 (ASTER GDEM)	17,23





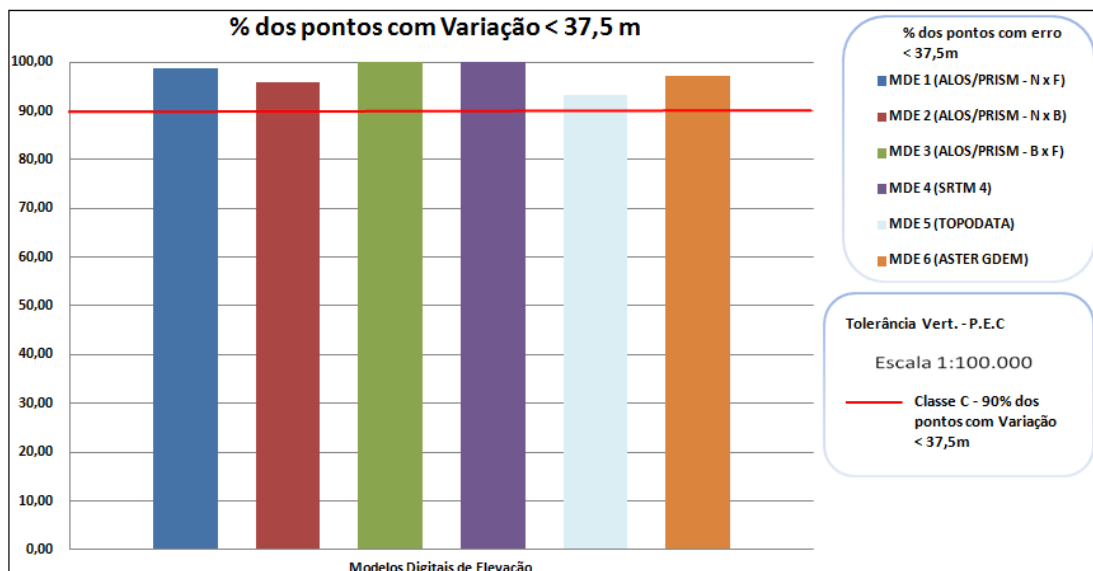
**FIGURA 11.** Gráfico mostrando o E.M.Q de cada MDE e os valores máximos de E.M.Q. para atenderem à PEC., nas classes A (linha verde) e B (linha vermelha) da escala 1:100.000.

Analisando as estatísticas dos MDEs em relação ao E.M.Q (Quadro 2 e Figura 11), verificou-se que todos os modelos atendem a classe B (20m) e C (25m) para a escala 1:100.000. Entretanto somente o MDE 4 (SRTM-4) atendeu a classe A (16,7m) para a mesma escala. Sendo que os melhores quanto ao critério do E.M.Q foram os MDEs 4 (SRTM versão 4) com 16,69 m (Classe A – Escala 1:100.000), seguido do MDE 3 (MDE ALOS/PRISM B x F) com 17,09 m

(Classe B - Escala 1:100.000) . É importante salientar que nenhum dos modelos testados neste trabalho atendeu a escala 1: 50.000, o que mostra que MDEs obtidos por técnicas de sensoriamento remoto, devem ser usados com certa cautela para análises em escalas pequenas. Para analisar os modelos quanto ao critério de tolerância vertical verificou-se a porcentagem de pontos que atendem a este critério para as classes referentes à escala 1:100.000 (Quadro 3).

**QUADRO 3.** Porcentagem de pontos que atenderam ao critério da PEC quanto à tolerância vertical para as classes referentes á escala 1:100.000.

MDEs	P.E.C. - Tolerância Vertical - Escala 1:100.000		
	Classe C	Classe B	Classe A
	% dos pontos com erros < 37,5m	% dos pontos com erros < 30m	% dos pontos com erros < 25m
MDE 1 (ALOS/PRISM - NxF)	98,63	84,93	73,97
MDE 2 (ALOS/PRISM - NxB)	95,83	88,89	79,17
MDE 3 (ALOS/PRISM - BxF)	100	90,14	85,92
MDE 4 (SRTM 4)	100	98,63	80,82
MDE 5 (TOPODATA)	93,15	86,3	78,08
MDE 6 (ASTER GDEM)	97,26	90,41	79,45

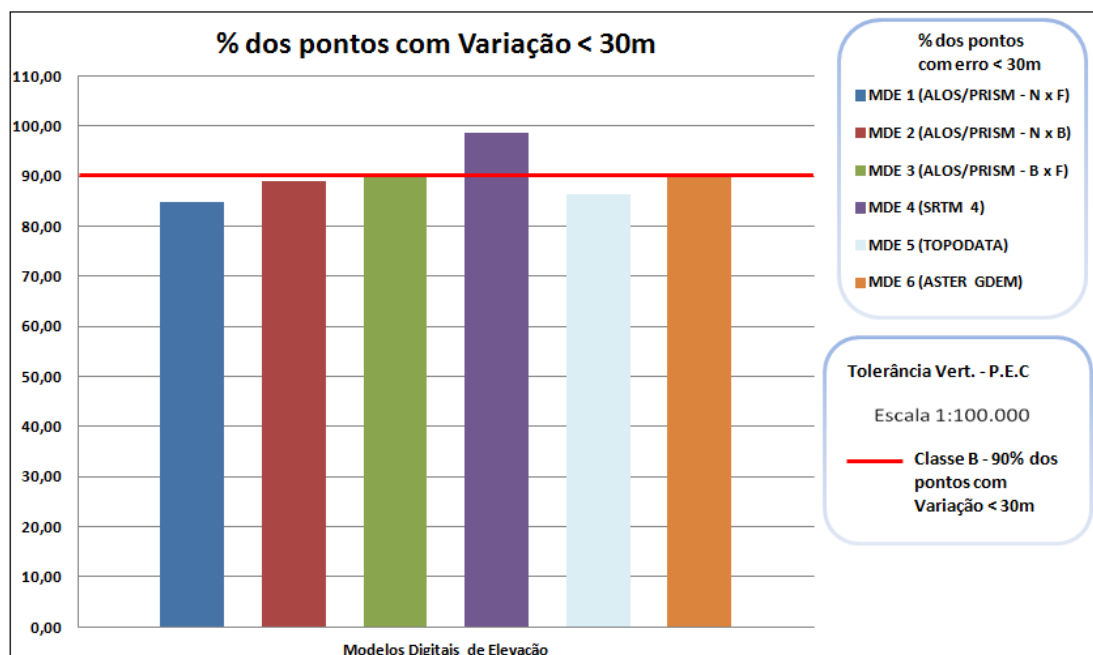


**FIGURA 12.** Gráfico mostrando o critério do PEC em relação à tolerância vertical para a classe C na escala 1:100.000. Pode-se verificar que todos os MDEs possuem mais de 90% dos pontos com diferença nas altitudes menores do que 37,5 metros.

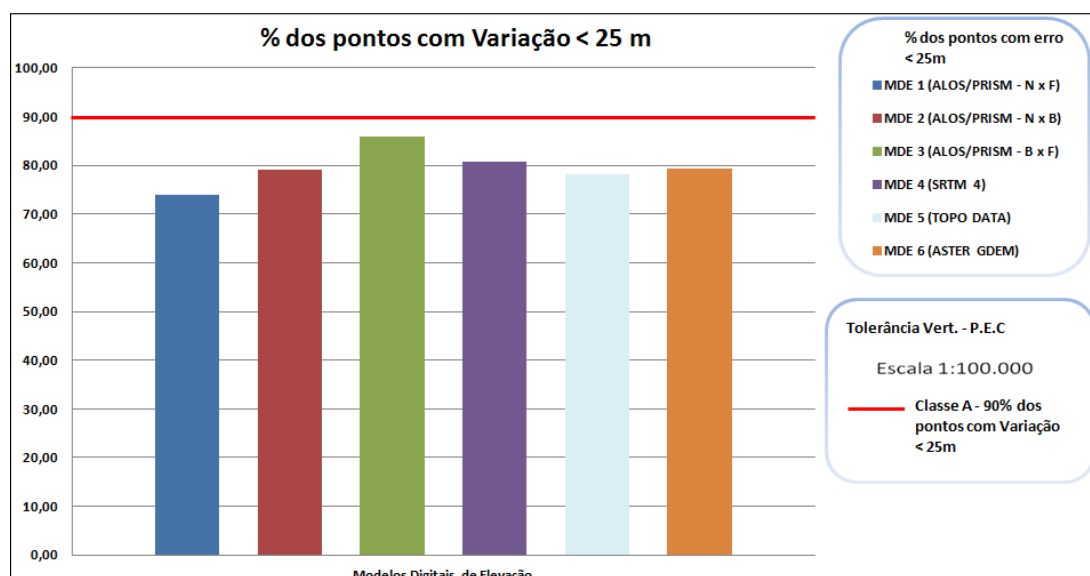
Em relação ao critério de tolerância vertical, verificou-se que todos os modelos atenderam a classe C para a escala 1:100.000 (Figura 12 e Quadro 3), já que mais de 90% dos pontos nos seis modelos tiveram diferença nas altitudes menores do que 37,5 metros.

Contudo, apenas os MDEs 3,4 e 6, correspondentes respectivamente aos MDEs PRISM B x F, SRTM versão 4 e ASTER

GDEM, atenderam a classe B para a escala 1:100.000 (Figura 13 e Quadro 3), que estipula que a tolerância é de que 90% dos pontos obterem uma variação de até 30m (3/4 da equidistância das curvas de nível) em relação aos pontos de controle. Nenhum MDE atendeu a classe A para a escala 1:100.000 (Figura 14).



**FIGURA 13.** Gráfico mostrando o critério do PEC em relação à tolerância vertical para a classe B na escala 1:100.000. Pode-se verificar que somente os MDEs 3 (ALOS/PRISM - BxF), 4 (SRTM-4) e 6 (ASTE GDEM) possuem mais de 90% dos pontos com diferença nas altitudes menores do que 30 metros.



**FIGURA 14.** Gráfico mostrando o critério do PEC em relação à tolerância vertical para a classe A na escala 1:100.000. Pode-se verificar que todos os MDEs possuem não chegam a ter 90% dos pontos com diferença nas altitudes menores do que 25 metros, não atendendo ao critério do PEC.

O Quadro 4 mostra um resumo da avaliação da qualidade altimétrica dos MDEs em relação ao P.E.C., levando em consideração o E.M.Q. O Quadro 5 mostra um resumo da avaliação da

qualidade altimétrica dos MDEs em relação ao P.E.C., levando em consideração a tolerância vertical.

**QUADRO 4.** Resumo da avaliação dos MDEs em relação ao P.E.C – EMQ.

MDEs	P.E.C - EMQ					
	ESCALA 1:100.000			ESCALA 1:50.000		
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe A	Classe B	Classe C
MDE 1 (ALOS/PRISM - NxF)	X	Atende	Atende	X	X	X
MDE 2 (ALOS/PRISM - NxB)	X	Atende	Atende	X	X	X
MDE 3 (ALOS/PRISM - BxF)	X	Atende	Atende	X	X	X
MDE 4 (SRTM 4)	Atende	Atende	Atende	X	X	X
MDE 5 (TOPODATA)	X	Atende	Atende	X	X	X
MDE 6 (ASTER GDEM)	X	Atende	Atende	X	X	X

**QUADRO 5.** Resumo da avaliação dos MDEs em relação ao P.E.C. – Tolerância Vertical.

MDEs	P.E.C - TOLERÂNCIA VERTICAL					
	ESCALA 1:100.000			ESCALA 1:50.000		
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe A	Classe B	Classe C
MDE 1 (ALOS/PRISM - NxF)	X	X	Atende	X	X	X
MDE 2 (ALOS/PRISM - NxB)	X	X	Atende	X	X	X
MDE 3 (ALOS/PRISM - BxF)	X	Atende	Atende	X	X	X
MDE 4 (SRTM 4)	X	Atende	Atende	X	X	X
MDE 5 (TOPODATA)	X	X	Atende	X	X	X
MDE 6 (ASTER GDEM)	X	Atende	Atende	X	X	X

## CONCLUSÕES

As menores diferenças encontradas, baseadas tanto no E.M.Q como na tolerância vertical, foram nos MDEs 3, 4 e 6, obtidos

respectivamente dos satélites ALOS/PRISM (com o uso das visadas *Backward* x *Forward*), do MDE SRTM versão 4 e do ASTER GDEM.

Todos eles se enquadraram na especificação do PEC para a escala 1:100.000, classes B e C. Entretanto, apenas o MDE 4, derivado do SRTM versão 4, atendeu a classe A, em relação ao critério do Erro Médio Quadrático.

Assim, nas condições do presente estudo, os MDEs gerados com o uso das imagens do sensor PRISM, Satélite ALOS, dos quais se esperavam os melhores resultados em função da sua resolução espacial de 2,5 metros, não se mostraram com qualidade altimétrica melhor do que os MDEs globais, disponibilizados gratuitamente na *web*.

O MDE extraído de imagens pagas do sensor PRISM, usando como pares estereoscópicos as visadas N-F e N-B (MDEs 1 e 2, respectivamente) se mostraram com uma qualidade altimétrica inferior aos MDEs globais. O MDE 3 derivado desse mesmo sensor, através do par estereoscópico *Backward* e *Forward*, se mostrou melhor do que os MDEs que utilizaram outras

combinações de pares estereoscópicos. Esse fato confirma a teoria de que o uso dos pares B x F é o melhor do ponto de vista geométrico, uma vez que fornece a melhor relação base/altura (valor igual a 1).

Vale destacar que essas conclusões foram baseadas no estudo de caso de uma única cena PRISM, adquirida sobre a região de São Gabriel do Oeste, MS. Assim é necessária a realização de outros estudos para avaliar a qualidade altimétrica das imagens PRISM. Sendo, para isso, utilizadas diferentes áreas do país, as quais apresentam diferentes características topográficas.

Os Modelos Digitais de Elevação apresentam diversas aplicações no ramo das geotecnologias. Entretanto, é muito importante avaliar as vantagens e as limitações de cada um deles, visando alcançar os melhores resultados de acordo o objetivo do trabalho ou estudo a ser realizado.

## AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela Bolsa de Mestrado de Edilce do Amaral Albrez e ao INCRA, Superintendência Regional do Mato Grosso do Sul (SR-16) pelo fornecimento dos dados de levantamento de campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Lei 9.433 de 08 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm). Acessado em: 02out2011.
2. BRASIL. Decreto-Lei nº 89.817 de 20 de junho de 1984. **Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Brasília, Diário Oficial da União, 1984.
3. CAMARGO, F.F.; ALMEIDA, C.M.; FLORENZANO, T.G.; OLIVEIRA, C.G. **Acurácia Posicional de MDEs ASTER/Terra em Área Montanhosa**. *Revista Geomática*. v. 4, n. 1, p. 12-24. 2009. Disponível em: < <http://w3.ufsm.br/rgeomatica/page4/02.pdf>>. Acessado em: 05jun2011.
4. CGIAR-CSI. **The CGIAR Consortium for Spatial Informations**. 2008. Disponível em: < <http://srtm.csi.cgiar.org/>>. Acessado em: 03out2011.
5. CHANG, H.C. LI, X., GE, L. **Assessment of SRTM, ACE2 and ASTER-GDEM using RTK-GPS**. In: AUSTRALASIAN REMOTE SENSING & PHOTOGRAMMETRY CONFERENCE, 15, 2010. University of New South Wales, Sydney, Austrália, 2010, p. 13-17. Disponível em: [http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/publication/s/chang\\_etal2010a.pdf](http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/publication/s/chang_etal2010a.pdf). Acessado em: 24set2011.

6. COELHO, A; BARROS, R; MELO, M; OLIVEIRA, L; CORREIA, J. **Avaliação de Modelo Digital de Elevação extraído de imagem ALOS/PRISM Estudo de Caso: Itaguaí - RJ.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3, 2010, Recife. **Resumos.** Recife, 2010, p.01-04. Disponível em: [http://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGE\\_O\\_CD/index.htm](http://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGE_O_CD/index.htm). Acessado em: 02out2011.
7. DALMOLIN, Q. Ajustamento por Mínimos Quadrados. 2002. Curitiba: Imprensa Universitária.
8. DIAS, F; MICELI, B; SEABRA, F; SANTOS, P; FERNANDES, M. **Comparação da avaliação vertical para médias e pequenas escalas em diferentes configurações topográficas.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. **Resumos.** INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011, p. 4110-4117. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0644.pdf>. Acessado em: 10out2011.
9. DUARTE, G.G.F.; ASSAD, M.M.L. **Avaliação de MDES obtidos por meio de SRTM.** XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p. 4849-4855. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.16.00.19/doc/4849-4855.pdf>. Acessado em: 02abr2011.
10. SPOTE IMAGE. Image satellite Spot, FORMOSAT-2, KOMPSAT-2, RADAR. Disponível em: <http://www.astrium-geo.com/en/143-spot-satellite-imagery>. Acessado em: 10ago2011.
11. EORC/JAXA – Earth Observation Research Center/Japan Aerospace Exploration Agency. **About ALOS.** 2007. Disponível em: <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/prism.htm>. Acessado em: 03mai2011.
12. ERSDAC – Earth Remote Sensing Data Analysis Center. 2006. **Aster Global Digital Elevation Model (GDEM).** Disponível em: <http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/2.html>. Acessado em: 06jul2011.
13. ESRI - Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Desktop 10.** New York. CD-ROM – 2010.
14. FUCKNER, M.A.; FLORENZANO, T.G.; MORAES, E.C. **Avaliação altimétrica de modelos digitais de elevação extraídos de imagens ASTER em áreas com configuração topográfica distinta.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Resumos.** INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009, p. 683-690. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.21.49/doc/683-690.pdf>. Acessado em: 28abr2011.
15. HUTCHINSON, M. F.; GALLANT, J. C. 1999. **Representation of terrain.** In: Longley, Paul A. Geographical information systems : principles, techniques, applications, and management. 2ª ed. New York: John Wiley, v.1. p. 105-124
16. IBGE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Relatório de Avaliação Planialtimétrica de Dados ALOS/PRISM. Estudo de Caso: Itaguaí - RJ.** 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/alos/relatorios.php>. Acessado em: 10mai2011.
17. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Software MapGeo Versão 1.0.** 2010. Disponível em: <http://geofp.ibge.gov.br/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=WKxwC9k9Ve>. Acessado em: 15set2011.
18. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Término do Acordo de Cooperação.** 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/alos/>. Acessado em: 15set2011.
19. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas

- Espaciais. **O Programa CBERS**. 2007. Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br/?content=cameras1e2e2b>. Acessado em: 10jul2011.
20. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TOPODATA: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. 2009. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/dados.php>. Acessado em: 11set2011.
21. LANDAU, E; GUIMARÃES, D. **Análise comparativa entre os modelos digitais de e ASTER, SRTM e TOPODATA**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. **Resumos**. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011, p. 4003-4009. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1537.pdf>. Acessado em: 05out2011.
22. LIMA, A; VIEIRA, A; SOARES, C. **Utilização de imagens ALOS/PRISM L1B2R para extração de MDEs em área urbana de Manaus/AM**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. **Resumos**. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011, p. 7230-7238. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1687.pdf>. Acessado em: 05out2011.
23. NAKAHORI, A; SOUZA, S. **Geração e Avaliação de Ortoimagem ALOS/PRISM 1B1. Estudo de Caso para São Gabriel - RS**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3, 2010, Recife. **Resumos**. Recife, 2010, p. 001-004. Disponível em: [http://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGE\\_O\\_CD/index.htm](http://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGE_O_CD/index.htm). Acessado em: 05out 2011.
24. PAIVA, R.G.; SANTOS, R.M.; GOMES, M.F.; GONÇALVES JUNIOR, F.A. **A Utilização de Dados SRTM para Análises Ambientais: Elaboração de Mapas de Relevo do Município de Maringá – Paraná – Brasil**. 2009. Disponível em: [http://egal2009.easyplanners.info/area04/4054\\_](http://egal2009.easyplanners.info/area04/4054_Garcia_Paiva_Raniere.pdf)
- Garcia\_Paiva\_Raniere.pdf. Acessado em: 15ago2011.
25. PARADELLA, Waldir R.; CECARELLI, Izabel C. F.; LUIZ, Silvia; DE OLIVEIRA, Cleber G.; OKIDA, Rosana. 2005. **Geração de carta topográfica com estéreo-pares fine do 71 RADARSAT-1 e dados ETM+ LANDSAT 7 em ambiente de relevo montanhoso na região Amazônica (Serra dos Carajás, Pará)**. Revista Brasileira de Geociências, 33: 323-332. Disponível em: [http://sbgeo.org.br/pub\\_sbg/rbg/vol35\\_down/3503/1495.pdf](http://sbgeo.org.br/pub_sbg/rbg/vol35_down/3503/1495.pdf). Acessado em: 15 de julho de 2011.
26. PARANHOS FILHO, A. C.; LASTORIA, G.; TORRES, T. G.; **Sensoriamento Remoto Ambiental Aplicado**. Campo Grande: Editora UFMS, 2008.
27. RIBEIRO FILHO, J.R.; CRUZ, C.B.M.; REIS, R.B. **Aplicação do Modelo Digital De Elevação do SRTM na geração de mapas fisiográficos do relevo**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Resumos**. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007, p. 3057-3064. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.16.00.20.01/doc/3057-3064.pdf>. Acessado em: 25abr2010.
28. SOUZA, J; LOCH, R. **Como melhorar a qualidade geométrica do modelo digital de elevação da Shuttle Radar Topography Mision, SRTM-3**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Resumos**. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007, p. 1369-1376. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.26.18.54/doc/1369-1376.pdf>. Acessado em: 16out2011.
29. SULSOFT. ENVI - Environment for Visualizing Images, versão 4.7. **Licença educacional para uso em instituições de ensino, gratuita por sete dias**. Porto Alegre, 2011. Disponível em: <http://www.sulsoft.com.br/index.php?link=downloads>. Acessado em: 13jun2011.
30. TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E.;

GOMES, T. C.; GUIMARÃES DA SILVA, T. Uso de Modelo Digital de Elevação Gerados a partir do ASTER GDEM e SRTM para Caracterização da Rede de Drenagem do Município de Renascença no Sudoeste do Estado do Paraná. Revista Brasileira de Geografia Física. Vol 4, Nº2. 2011. Disponível em:

<http://www.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewArticle/184>. Acessado em: 07fev2011.

31. USGS – United States Geological Survey. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). **Imagens de Satélite**. 2006. Disponível em: <http://egsc.usgs.gov/isb/pubs/factsheets/fs07103.html>. Acessado em: 20set2011.

*Manuscrito recebido em: 24 de abril de 2012  
Revisado e Aceito em: 24 de setembro de 2012*